



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Joonas Sammalinen

# Energiansäästöprojekti pumppujen vaihdon avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

9.3.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joonas Sammalinen Energiansäästöprojekti pumppujen vaihdon avulla 34 sivua 9.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Osmo Massinen
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli esitellä kauppakeskukseen kohdistuva energiansäästöhanke kiinteistön kiertovesipumppujen uusimisen avulla, perustella pumppujen energiansäästö-laskelmat ja käydä läpi pumppu-, sekä sähkömoottoritekniikan kehitysvaiheita. Kauppakes- kuksen pumppujen vuosittaisen energiankulutuksen, sekä uusien pumppujen energianku- lutuksen on laskenut ulkopuolinen yritys ja tässä työssä selvitettiin sen laskentaperusteet, sekä sijoituksen takaisinmaksuaika. Työssä esiteltiin myös automaation osuus talotekni- kan pumppausjärjestelmissä, sekä pumppujen vaihtoon liittyvät sähkö-, automaatio-, ja putkityöt.</p> <p>Pumppuvalmistajat ovat olleet käytännössä pakotettuja tämän alan teknologian kehittämi- seen, sillä EU-direktiivit ja yleinen lainsäädäntö ovat sitä porrastetusti eri aikakausina vaati- neet. Vaikka kiertovesipumput ovat kauppakeskuksen energiankulutuksesta vain murto-osa, on tämän projektin laskettu pienentävän kauppakeskuksen hiilijalanjälkeä n. 1,7 miljoonaa kiloa CO<sub>2</sub>-päästöjä laskennan ajalta.</p> <p>Pumppujen energiatehokkuuden parantumista selitetään pumppuihin liittyvien fysiikan lain- alaisuuksien, eli pumppulakien avulla. Tiedostamalla pumppulait saadaan käsitys, miten pumpun ja koko pumppausjärjestelmän pitää muuttua, että siitä saadaan rakennettua ener- giatehokkaampi.</p> <p>Insinööritö tehtiin projektin tueksi, lähinnä varmistamaan projektissa käytettyä laskentaa energiansäästön osalta, sekä auttamaan urakoitsijaa hahmottamaan parhaita mahdollisia toimintatapoja tämän kaltaisten hankkeiden suorittamisessa.</p>	
Avainsanat	kiertovesipumppu, energiatehokkuus, sähkömoottoritekniikka

Author Title Number of Pages Date	Joonas Sammalinen Saving Energy with New Centrifugal Pumps 34 pages 9 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer.
<p>The purpose of this study was to explain how to increase energy efficiency of a property with the use of current centrifugal pump technology. The object was also to introduce how the hydraulic features and motor technology have developed in the past years.</p> <p>This research was accomplished by using affinity laws, introducing many standards related to centrifugal pump technology and development of electric motors. Additionally the study shows the most economical ways to use the pumps by means of building automation and control systems.</p> <p>The results show that this kind of project is very cost-effective, sustainable and environmentally friendly. The energy saving calculations were carried out after the research of the whole price of the pumps and the physical work. The calculations explained how the property's carbon footprint decreased 1700 tons of carbon dioxide per year.</p>	
Keywords	centrifugal pump, energy efficiency, electric motor technology

1	Johdanto	2
2	Pumpun rakenne	3
2.1	Pumppujen käyttö kauppakeskuksessa	8
2.2	Pumppujen kehitys 1980-luvulta tähän päivään	10
3	Pumpun energiatehokkuus	12
3.1	Energialuokitukset	12
3.1.1	IEC 60034-30 standardi	12
3.1.2	EEl-arviointijärjestelmä	16
3.1.3	MEI-indeksi	17
3.2	Pumppulait	18
3.3	Automaatio ja pumpun oikea mitoitus	24
4	Projektin kustannukset	26
4.1	Energiansäästölaskelmat	26
4.2	Takaisinmaksuaika	30
4.3	Fyysiset työt ja työn suunnittelu	31
5	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

## 1 Johdanto

Työn tarkoituksena on esitellä kauppakeskukseen kohdistuva energiansäästöprojekti kiinteistön kiertovesipumppujen vaihdon avulla. Kauppakeskusta, sekä työhön liittyviä toimijoita ei kuvata tässä työssä sen tarkemmin. Työ tehdään pumppuvalmistajan materiaalien ja ohjeiden avulla. Projekti on tällä hetkellä tarjousvaiheessa ja suunnitelmissa toteuttaa vuoden 2020 aikana.

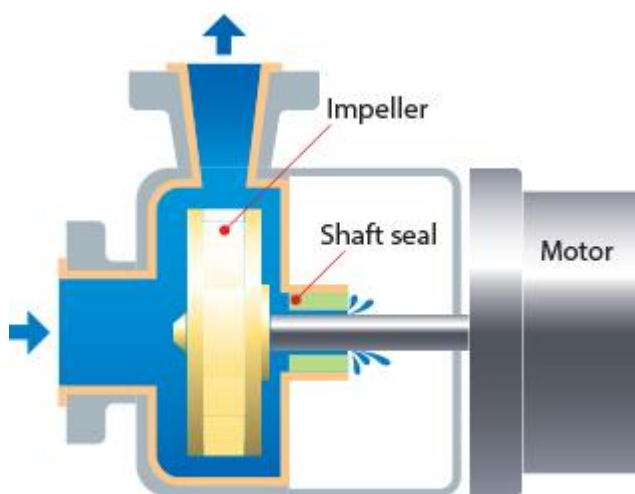
Energiansäästöprojektissa suurena tekijänä on myös kiinteistön aiheuttamien päästöjen vähentäminen, jotka ovat laskennassa huomioitu säästetyn energian ohella.

Pumppuja on kartoitettu 107 kappaletta, joista vain pieni osa on sellaisia, joihin on vielä varaosia saatavilla. Pääosin pumpput palvelevat IV-koneita, vedenjäähdytyskoneita, sekä lämmityskiertopiiriä. Suurin osa pumpuista on vanhaa tekniikkaa vuodelta 1985. On tärkeää huomioida pumpun mekaaninen käyttöikä, joka on noin 20–25 vuotta. Suurin osa pumpuista on käyttöikänsä loppuvaiheella ja näiden uusiminen yksittäin olisi erittäin paljon kalliimpaa, kuin hyvin suunniteltuna ryhmävaihtona tehtynä, joten projekti on erittäin aiheellinen juuri tällä hetkellä. Pumpput on tarkoitus korvata nykyaikaisilla Wilon valmistamilla Stratos -mallisarjan pumpuilla, joka on moderni ja runsaasti energiaa säästäviä ominaisuuksia sisältävä pumppu. Kiinteistöautomaation yhdistäminen projektiin tekee säästöpotentiaalista vieläkin suuremman.

Energiansäästölaskelmien ja asennustyöosuuden perusteella lasketaan projektin takaisinmaksuaika ja kannattavuus. Projektin esittelyn ohella käydään läpi pumppu- sekä sähkömoottoriteknologian kehitystä, jonka johdosta nykypäivän kiertovesipumpuista on saatu energiatehokkaita.

## 2 Pumpun rakenne

LVI-järjestelmissä käytetään yleisesti keskipakopumppuja. Keskipakopumpun keksi fyysikko Denis Papin vuonna 1689. Nykyään keskipakopumput ovat maailman yleisimmin käytetty pumpputyyppejä. Keskipakopumpun toimintaperiaate on yksinkertainen: Neste johdetaan juoksupyörän napaan, josta se siirtyy keskipakovoiman vaikutuksesta kohti juoksupyörän ulkokehää. Rakenne on melko edullinen, kestävä ja yksinkertainen. Suuren pyörimisnopeutensa ansiosta pumppu voidaan kytkeä suoraan epätahtimoottoriin. (1.)



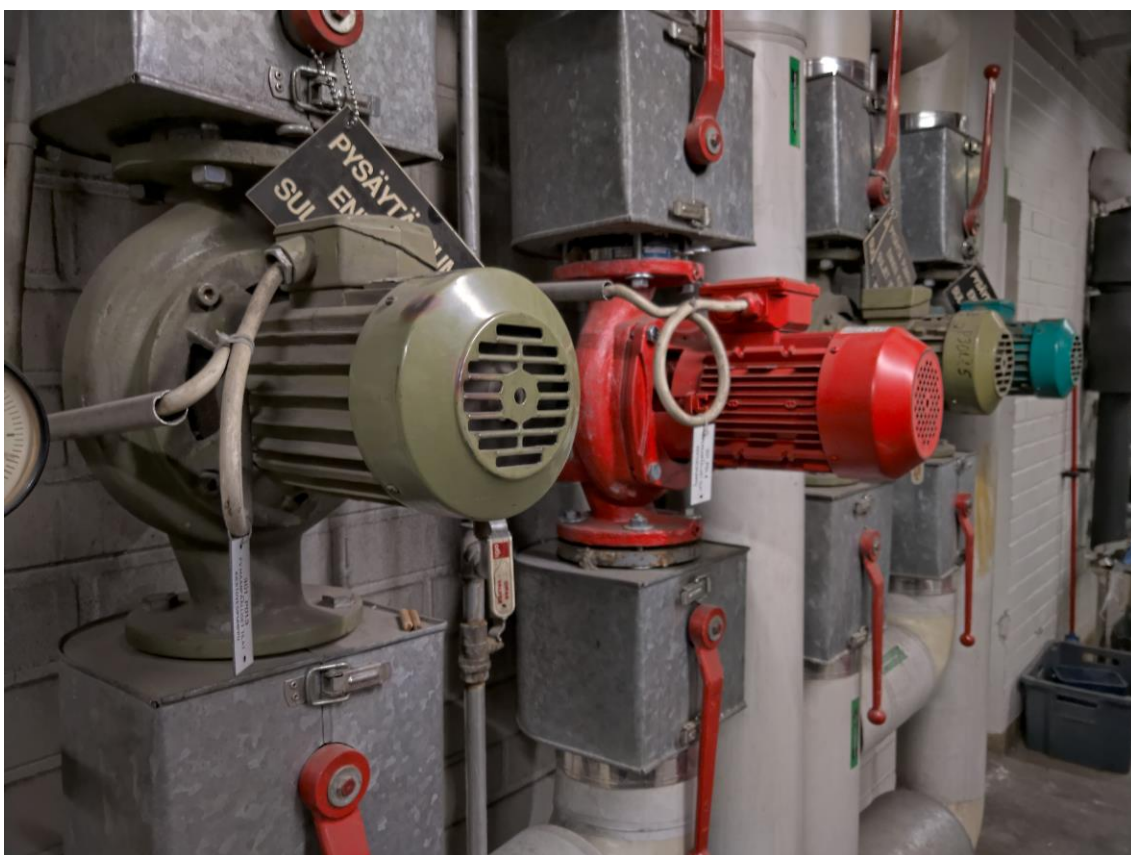
Kuva 1. Akselitiivisteellisen keskipakopumpun toiminta. (2.)

Keskipakopumput jaotellaan eri alalajeihin, joista kiertovesipumput ovat tyypillisin esiintymä tämän kaltaisessa hankkeessa. Niitä käytetään veden kierrätykseen suljetuissa lämmitys-, ilmastointi-, ja lämminvesijärjestelmissä.

Pumppukäytöissä moottorit ovat joko nestevoideltuja tai kuivamoottoreita. Nestevoidellun pumpun etuna on se, että pumpattava neste voitelee moottorin laakerit sekä jäähtyy moottoria. Moottorin tuottama lämpöenergia johtuu pumpattavaan nesteeseen, joten nestevoideltua pumppua on syytä käyttää vain sellaisissa sovelluksissa, joissa tästä ei ole haittaa. Esimerkiksi jäähdytysjärjestelmään tätä ei suositella energiankulutuksen kasvun ja tämän myötä järjestelmän hyötysuhteen laskun vuoksi. Nestevoidelluissa pumpeissa suuri etu on myös huoltovapaus; akselitiivistettä ei tarvita, joka on

yleinen kuluva osa moottoreissa ja syy sille, miksi pumppu yleensä vaihdetaan. Akselitiiviste joutuu kuivamoottoripumpuissa suurelle rasitukselle lämmön ja akselin suuren kierrosnopeuden vuoksi. (3.)

Kuivamoottoripumppuja käytetään talotekniikassa mm. jäähdytysjärjestelmissä. Moottorin jäähdytys on toteutettu tuulettimella, joten sähkömoottorin tuottamaa lämpöenergiaa ei siirry pumpattavaan nesteeseen. Kuivamoottoripumpun rakenne on akselitiivisteiden vuoksi huoltoa vaativa. Kuvassa 2. kuivamoottoripumppuja kauppakeskuksessa.



Kuva 2. Keskisuuren kokoluokan kuivamoottoripumppuja kauppakeskuksen lämmönjakohuoneessa.

Tämän projektin kauppakeskuksessa pienimmät pumput, joiden sähkönsyöttö on toteutettu yksivaiheisena, ovat kestopagneettimoottorilla varustettuja nestevoidellun rakenteen omaavia pumppuja, huolimatta siitä palveleeko pumppu lämmitys-, vai jäähdytysjärjestelmää. Pienempien pumppujen suuri lukumäärä tuottaisi kuivamoottoriratkaisuna

huoltokustannuksia paljon enemmän, kuin energiansäästöä jäähdytysjärjestelmän hyötysuhteen optimoinnilla. Kolmivaiheiset keski- ja suurikokoiset pumpput ovat aina kuivamoottorilla varustettuja.

### Pumpun moottori

Talotekniikassa käytetään pumppujen moottoreina piensähkömoottoreita, joko 1- tai 3-vaiheisena.

Pienimmät moottorit, jotka ovat nestevoideltuja, ovat ns. kestopagneettitahtimoottoreita. Niiden tehokerroin on parempi kuin induktiokoneilla, joita 3-vaihemoottorit ovat. Suurin osa kauppakeskuksen pienimmistä pumpuista on yksivaiheisia kestopagneettimoottoreita ja keski-, sekä suurikokoiset moottorit induktiokoneita. Nestevoideltu moottori on integroitu pumppuun ja on huoltovapaa koko elinikänsä ajan. Kestopagneettitahtimoottori vaatii taajuusmuuttajan. Tämän tyyppin moottoreiden erittäin hyvä hyötysuhde johtuu niiden roottorista, jossa ei tapahdu juuri lainkaan häviöitä kestopagneetin ansiosta.

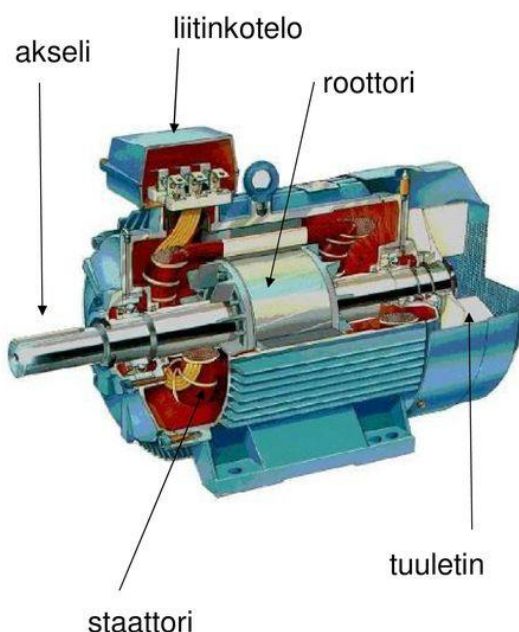




Kuva 3. Kuvassa induktiomootorilla varustettu nestevoideltu pumppu. Pumpun päällä integroitu elektroniikka, mm. relemoduuli.

Kauppakeskuksen pumpuista suurinta osaa pyörittää kolmivaiheinen induktiomoottori, eli oikosulkumoottori. Kuvassa 3. yleisesti kauppakeskuksessa käytetty Grundfosin pumppu, joka toimii induktiomootorilla. Oikosulkumoottori on teollisuuden yleisin sähkö- ja epätahtimoottorityyppi. Oikosulkumoottorin etuna on sen yksinkertainen rakenne ja huollettavuus. Se on erittäin kustannustehokas vaihtoehto. Induktiomoottoria voidaan käyttää suoraan verkkokäyttöisenä tai taajuusmuuttajan kautta syötettynä. (3.) Induktio-moottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen väliin vuorovaikutuksiin. Staattoriin käämittyjen kuparijohtimien ja verkko-taajuudella vaihtelevan vaihtovirran avulla voidaan induktiolain mukaisesti indusoida virta roottoriin. Induktio-moottorin toinen nimitys ”epätahtimoottori” tulee siitä, että roottorin pyörintänopeus on aina staattorissa kulkevaa magneettikentän pyörimisnopeutta pienempi. (4.)

## Oikosulkumoottori



© ABB Oy Kotimaan myynti

- Yleisin voimakone teollisuudessa
- Muuntaa sähköön mekaaniseksi tehoksi
- Muita nimiä: epätahtimoottori, induktimoottori
- Yksinkertainen rakenne, kestävä, halpa
- Toimii vain yhdellä nopeudella
- Muita moottorityyppejä:
  - tasavirtamoottori
  - liukurengasmoottori
  - tahtimoottori
  - kestmagneettimoottori

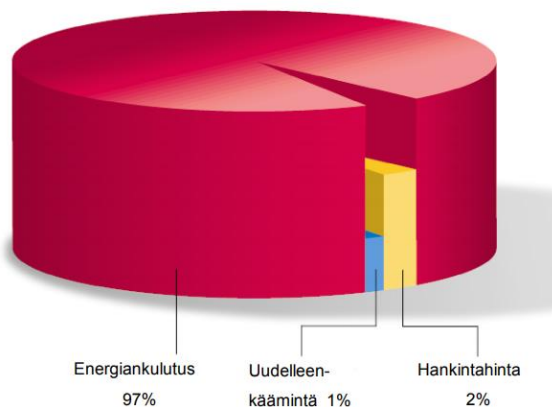
**ABB**

Kuva 4. Oikosulkumoottorin rakenne kuvalla havainnollistettuna. Roottori seuraa staattorin magneettikenttää ja määrittää akselin pyörintänopeuden. (5. s. 4)

Pumpuissa kuivamoottorisovelluksena käytetty induktimoottori tarvitsee aina erillisen jäähdytyksen, joka yleisesti on moottorin perässä oleva puhallin. Tämä on havainnollistettu kuvassa 4.

Kauppakeskuksen energiansäästöprojektissa on suunniteltu, että pienemmät- ja keskikoon pumpput korvataan Wilon Stratos -mallisarjan pumppuja, jotka käyttävät EC-moottoria. EC on lyhenne sanoista "Electronically Commutated", joka tarkoittaa, että moottori on elektronisesti kommutoitu. Se on hiiliharjaton tasavirtamoottori, eli siinä perinteiset hiiliharjat ovat korvattu sisäänrakennetulla säätimellä, joka ohjaa virtaa käämeihin elektronisesti. EC-moottoreissa on Hall-sensori, joka tunnistaa roottorin asennon suhteessa staattoriin. Ohjain säättää virtaa oikeaan käämiin oikeaan aikaan asennontunnistimen avulla. Tämä poistaa jättämähäviöt kokonaan, joka tekee EC-moottorin hyötysuhteesta ylivoimaisen.

EC-moottorilla varustetut pumput kytketään automaatioon, jolloin sieltä saadaan ohjausjännite (0–10 V) valvonta-alakeskukselta, joka viestii moottorille pyynnön pyörimisnopeudesta. Mitä korkeampi jänniteviesti on, sitä vahvempi virta ohjataan käämeihin ja pyörimisnopeus kasvaa. (13.)



Kuva 5. Kuvastaa moottorin elinkaaren ajalta syntyviä kustannuksia. Hankintahinnan merkityksellisyys on hyvä tiedostaa sopivaa pumppua valittaessa.

## 2.1 Pumppujen käyttö kauppakeskuksessa

### Nykyinen käytötapa

Kauppakeskus on valmistunut 1980-luvun puolivälissä, ja nykyinen talotekniikka on suurimmilta osin sitä aikakautta. Pumppuja käytetään kiinteistöautomaation kautta päälle/pois – valinnalla ja ne ovat päällä oletuksena aina, mikäli pumppu ei ole vikatilassa. Pumput pyörivät jatkuvasti vakionopeudella ottamalla saman tehon verkosta ympäri vuorokauden. Virtausta säädellään moottoriventtiileillä, jotka ovat osana kiinteistöautomaatiojärjestelmää, venttiilit ovat sijoitettu pumppujen painepuolelle ja ne saavat aikaan nesteen tilavuusvirran pienenemisen. Tämä on yksinkertainen ja varma menetelmä, eikä vaadi taajuusmuuttajia tai muita kalliita komponentteja.

Energiansäästöprojektin yksi tavoitteista on se, että pumput saataisiin toimimaan vain tarvittavalla pyörintänopeudella, jolloin niiden virtausta ei tarvitsisi kuristaa venttiileillä. Tämä on yleensä energiatehokkain ohjaustapa pumpuille. Projektissa käytettävien Wilo

Stratos -tuoteperheen pumpuissa on ominaisuutena pumppausvirran rajoitin, joka sää-  
tää automaattisesti pyörintänopeutta tarpeen mukaan pumpussa itsessään olevan antu-  
rin avulla. Kierrosnopeussäädön etuna on valtava energiansäästö pumpuilla, jotka pal-  
velevat vaihtelevaa virtausnopeutta tarvitsevia järjestelmiä. Ympäristönä kauppakeskus  
on juuri tällainen, jossa etenkin yöaikaan, lämmityskaudella ja jäähdytyskaudella saa-  
daan mukautuvalla järjestelmällä suuri taloudellinen, sekä ympäristöä säästävä hyöty.

Ilmanvaihtojärjestelmän suuria moottoreita ohjataan kauppakeskuksessa taajuusmuut-  
tajilla. Taajuusmuuttaja säättää oikosulkumoottorin nopeutta portaattomasti muokkaa-  
malla syöttöjännitteen taajuutta. Taajuusmuuttajien päävirtapiirit toteutetaan puolijoh-  
dekytkimillä. Niitä käytetään kytkemään kuorma toistuvassa sekvenssissä haluttuun jän-  
nitetasoon, tai vaihejännitteeseen, joka muokkaa jännitteitä halutunlaiseksi. (7.)

Tällä hetkellä kartoitettujen 107 pumpun käyttöön menee 700 000 kWh energiaa vuosit-  
tain.

#### Pumppujen vuorottelu

Pumppuja, jotka ovat kauppakeskuksen toiminnan kannalta erittäin kriittisiä on järjestel-  
mässä aina kaksi. Näitä vuorotellaan automaatio-ohjauksella. P1 pyörii kello 11.00–  
23.00 ja P2 kello 23.00–11.00. Pumppujen vuorottelulla periaatteessa tuplataan pump-  
pujen elinikä ja estetään pumppujen jatkuvasta käytöstä johtuva liika kuumeneminen.  
Pumppujen vuorottelun ongelma on moottorin uudelleenkäynnistykseen vaadittava  
moottorin suuri käynnistysvirta, joka on yleensä viidestä seitsemään kertainen moottorin  
nimellisvirtaan nähden. Tämä saattaa vaikuttaa muihin kyseisen sähköverkon laitteisiin,  
mm. valaistukseen himmentämällä sen hetkellisesti. Toinen mahdollinen pumppujen  
vuorottelutapa on käyttää maksimivirtaaman hetkellä kahta pumppua ja muissa tapauk-  
sissa vain yhtä pumppua. Mikäli maksimivirtaamaa tarvitaan esimerkiksi vain kesän läm-  
pimimpinä päivinä, voidaan kahta pumppua ajaa täydellä teholla, jolloin toimintapisteeksi  
muodostuu kahden pumpun yhteisteho. Tällöin pumput toimivat optimaalisen toiminta-  
pisteen ulkopuolella silloin, kun molempia ajetaan täydellä teholla, mutta optimaalisissa  
toimintapisteissä silloin, kun käytetään vain yhtä pumppua.

## 2.2 Pumppujen kehitys 1980-luvulta tähän päivään

Kiertovesipumppujen osuus lämmitysjärjestelmän energiankulutuksesta on suhteellisen pieni. Siitä huolimatta pumppuvalmistajat ovat jatkuvasti luoneet vähemmän ja vähemmän energiaa kuluttavia pumppuja. 2010-luvulla kehitettiin saksalaisen Wilo AG:n toimesta nestevoideltu pumppusarja, jossa rakoputki on metallin sijaan muovia. Pumpun hyötysuhde on jopa kaksinkertainen tavalliseen induktiomootorilla varustettuun pumppuun verrattuna. Tämä säästää pumpun käyttämää energiaa parhaimmillaan jopa 80 %.

Kestomagneettimootoripumput ovat tehneet tuloaan viime vuosikymmenet ja tällä hetkellä kestomagneettimootorilla varustettuja pumppuja löytyy suuristakin kokoluokista aina 22 kW:n asti. Nestevoidellun pumpun etuna on akselitiivisteiden puutteen lisäksi, että ne käyttävät aina kestomagneettimootoria. Kestomagneettimootorin tehokerroin on aina parempi kuin induktiomootorilla, sillä induktiomootorissa syntyy energiahäviöitä, koska roottorin magnetointivirta otetaan roottorin pyörimisliikkeestä ja se pyörii hieman jäljessä vaihtovirran synnyttämään magneettikentän pyörimisnopeuteen verrattuna. (12.)

Induktiomootorin toiminta perustuu vaihtuvan vuokentän muodostumiseen. Roottori seuraa jättämän seurauksena tätä vuota aiheuttaen vääntömomentin roottorin akseliin. Energiahäviöt johtuvat roottorin magneettikentän synnyttämisestä ja ylläpidosta. Parantamalla tätä kentänmuodostumista ja parantamalla napojen muotoa ja lukumäärää saadaan häviöt pienemmiksi. Samoin tekemällä mahdollisimman puhdasta siniaallon muo- kaista aaltoa roottorin navoille, moottorin hyötysuhde on parempi. Tämä käytännössä tarkoittaa taajuusmuuttajakäytöissä mahdollisimman suurta modulointiaajuutta, jotta moottorin häviöt olisivat mahdollisimman minimaaliset. Kestomagneeteilla saadaan syn- nytettyä parempi kentäntiheys ja samalla saadaan kohdistettua vuota. Täten saadaan suurempi vääntö aikaan samalla teholla, joten kestomagneettikoneen tehokerroin on fy- siikan lainalaisuuksien mukaan lähtökohtaisesti aina parempi.

Uuden moottorityypin ohella pumpuissa on tapahtunut käytettyjen materiaalityypien suhteen suuria muutoksia. Metalliteollisuudessa on kehitetty uusia materiaaleja, jotka ovat vähemmän alttiita ruostumiselle, sekä kestävätkä mekaanista rasitusta paremmin.

Myös komposiittiyhdistelmille on suuri kysyntä pumpputeollisuudessa. Komposiittiseoksien keveys ja lujuusominaisuudet ovat ylivertaisia tietyissä pumppujen komponenteissa. Esimerkiksi pumppuvalmistaja Wilo käyttää hiilikuitumateriaalia Stratos MAXO -mallisaran pumppujen juoksupyörissä kolmiulotteisesti käyristetyillä siivekkeellä ja muovirakoputkella. Erityisesti pyörimisliikkeessä olevien komponenttien keventäminen kestävästi on vaatinut uudenlaisia materiaaleja, mutta näiden avulla niillä saavutetaan suuri energiansäästö. Pumpuissa on laakereita, jotka ovat nekin kokeneet tuotekehitystä vuosien aikana, mm. keraamiset laakerit, joiden laakerikuulien pienempi kitkakerroin ja tiheys, sekä pienempi lämpölaajenemiskerroin saa ne toimimaan paremmin vaativissa olosuhteissa pumpun akselilla.

Mallinnusohjelmien avulla pystytään ymmärtämään pumppujen toimintaa aivan uudella tasolla verrattuna esimerkiksi juuri 1980-lukuun. FEM on numeerinen menetelmä, jolla pystytään analysoimaan rakenteiden käyttäytymistä eri tilanteissa ja esimerkiksi pumpuissa tapahtuvaa kavitaatiota pystytään ymmärtämään paremmin. Tietokonemallinnus on helpottanut tuotekehitystä materiaalivalintojen ja pumpun rakenteen kehittämisen suhteen. (13.)

Elektroniikan integroiminen pumppuihin on ollut energiankulutuksen, sekä pumpun elinajan kannalta merkittävä tekijä. Nykyisissä IE5-luokan pumpuissa on poikkeuksetta aina niin paljon elektroniikkaa, että asennettaessa pumppua paikalleen ja säätämällä parametrit oikein, pumppu osaa itse mukautua järjestelmään ja rajoittaa virtaamaa tarvittaessa sekä optimoida käyttötuntinsa.

### 3 Pumpun energiatehokkuus

#### 3.1 Energialuokitukset

##### 3.1.1 IEC 60034-30 standardi

EU:n uusi lainsäädäntö tuli voimaan 2008. Se ottaa kantaa sähkömoottorien suunnitteluun ja asettaa vaatimukset moottoreiden ekologisuudelle. Sähkömoottorit on suunniteltava ja valmistettava huomioiden tuotteen energiankäyttö sekä muut ympäristötekijät. Aiemmin moottorit on luokiteltu moottorivalmistajien ja EU:n komission vapaaehtoisen hyötysuhdeluokittelun perusteella. Luokittelu koski kolmivaiheisia pienjännitemoottoreita hyötysuhdeluokituksista kokoluokissa 1,1–90 kW. Luokat olivat

- Eff1
- Eff2
- Eff3

Korkeimman hyötysuhteen sähkömoottoreita edustivat Eff1 -luokan moottorit. Luokitusta on sovellettu yksinopeuksisiin 50 Hz:n taajuudella toimiviin kolmivaiheisiin induktiomootoreihin tietyillä määritteillä:

- Moottorin napaluku on kaksi tai neljä.
- Nimellisjännite on 400V.
- nimellisteho on 1,1–90 kW.
- Moottorin on oltava suunniteltu jatkuvaan käyttöön, jossa jatkuvalla käytöllä tarkoitetaan sähkömoottorin kykyä toimia nimelliskuormalla keskeytyksettä, jos lämpötilan nousu ei ylitä suurinta sallittua.
- Rakenne on suljettu ja moottorin on oltava puhallinjäädyytteinen (9.)

2008 käyttöön tullut IEC-standardin mukainen luokitus, jota on käytetty myös Ekosuunnitteludirektiivin sähkömoottoreita koskevassa asetuksessa no. 640/2009 pohjautuu aikaisempaan Eff-luokitteluun tietyin eroavaisuuksin:

- Se käsittää myös 60 Hz:n taajuudella toimivat kolmivaiheiset induktiomoottorit.
- Napaluku on 2–6.
- Nimellisjännite on 1000 V:iin asti.
- Nimellisteho on 375 kW:iin asti. (9.)

Ekosuunnitteluvaatimuksia on sovellettu seuraavan aikataulun mukaisesti:

1) 16.6.2011 lähtien on moottoreiden hyötysuhteen vastattava vähintään komission asetuksen no 640/2009 liitteen määrittelemää hyötysuhdetasoa IE2.

2) 1.1.2015 lähtien moottoreiden, joiden nimellisteho on 7,5 – 375 kW, hyötysuhteen on vastattava vähintään komission asetuksen no 640/2009 liitteen määrittelemiä hyötysuhdetasoa IE3 tai hyötysuhdetasoa IE2 varustettuna taajuusmuuttajalla.

3) 1.1.2017 lähtien moottoreiden, joiden nimellisteho on 7,5 – 375 kW, hyötysuhteen on vastattava vähintään komission asetuksen no 640/2009 liitteen määrittelemiä hyötysuhdetasoa IE3 tai hyötysuhdetasoa IE2 varustettuna taajuusmuuttajalla.

1.7.2021 alkaen asetuksen 1781/2009 mukaan 2–8 -napaisten 0,75–1000 kW kolmivaihemootoreiden on vastattava IE3 hyötysuhdetasoa. (9.)

EU -komission asettaman 640/2009 direktiivin kaltainen energiatehokkuuden vaatimus on käytössä lähes kaikissa teollisuusmaissa, pois lukien Venäjä, jossa ei ole vaatimuksia moottoreiden energiatehokkuudelle. (9.) Taulukossa 1. selitetään EU-luokituksen, sekä Yhdysvalloissa käytetyn EPA-act –standardin yhteneväisyydet.



Taulukko 1. Sähkömoottoreiden hyötysuhdeluokat, josta selviää vanhan ja uuden luokittelun vastaavat hyötysuhdeluokat. Uusi IEC-standardi harmonisoi energiatehokkuusluokat maailmanlaajuisiksi. (8.)

Motor Efficiency Class	International	USA	EU (old)	EU (new)
Premium	IE3	NEMA premium	-	IE3
High	IE2	EPAct	Eff1	IE2
Standard	IE1	-	Eff2	IE1
Below standard	-	-	Eff3	-

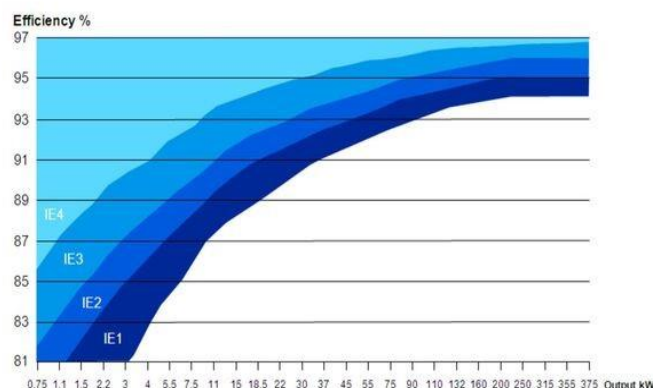
Vuonna 2011 on tullut käyttöön IE4 (Super Premium) -luokituksen täyttäviä moottoreita. Ensimmäisenä sellaisen lanseerasi ABB. IE4-luokka määriteltiin IEC-30034-30 standardiin vuonna 2014.

1.1.2017 on otettu käyttöön IE5-luokitus. IE5-luokan moottori säästää vähintään 10 % energiaa verrattuna IE3-tyypin moottoriin. (10.)

Kauppakeskuksen pumpput ovat suurelta osin hyötysuhdeluokkaa Eff2/IE1. Esimerkiksi vedenjäähdytyskonetta palvelevat pumpput (8 kpl), jotka ovat projektin suurinta kokoluokkaa kuuluvat tähän hyötysuhdeluokkaan. Edellä mainitun aikataulutuksen mukaisesti vain harva kauppakeskuksen pumpuista on nykyainsäädännön mukaisella tasolla. Vaihdamalla edellä mainitut pumpput nykyaikaisiin IE5-luokituksen pumppuihin energiaa säästyy 5–10 tuhatta kilowattituntia pumppua kohden.

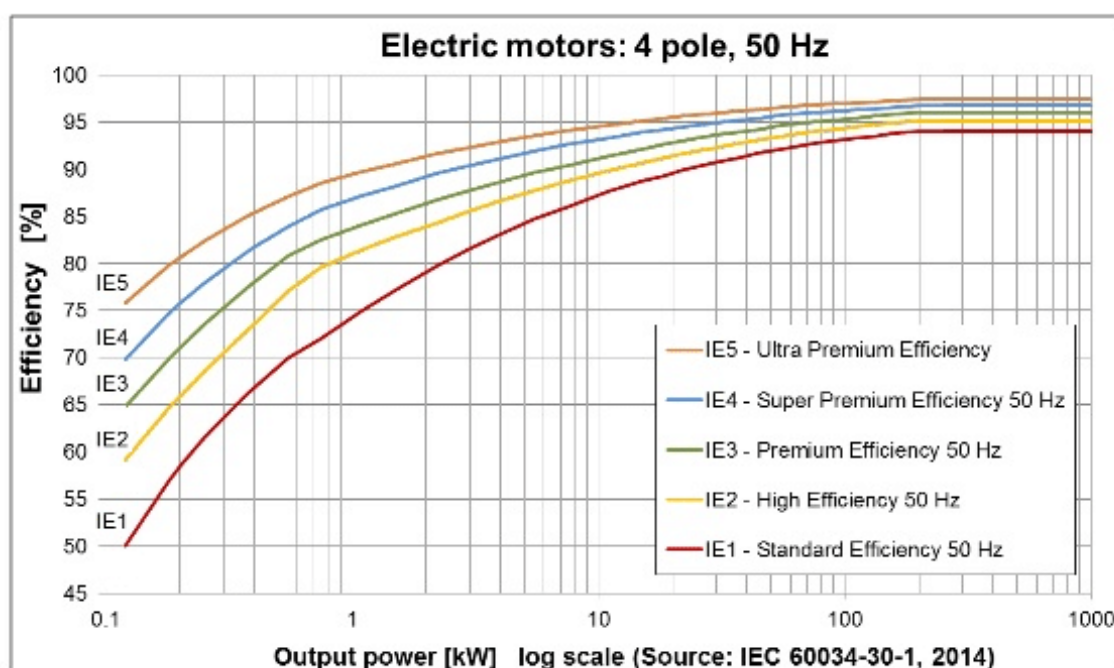
## Uudet IE-hyötysuhdeluokat

- Standardi IEC 60034-30 hyväksyttiin syyskuussa 2008
- IEC 60034-30 harmonisoi hyötysuhdeluokat maailmanlaajuisiksi
- IE-luokat perustuvat uuteen hyötysuhteen mittausstandardiin: IEC 60034-2-1: 2007
  - IE hyötysuhdeluokitus (International Efficiency)
    - **IE1 = Standard**
    - **IE2 = High**
    - **IE3 = Premium**
    - **IE4 = Super Premium**
- IE-luokat kattavat:
  - 2-, 4- ja 6 -napaiset
  - Tehoalue 0.75-375 kW
  - Kaikki pienjännitteet < 1000 V



Kuva 6. IE-hyötysuhdeluokat havainnollistettuna kuvaajalla. (6.)

Hyötysuhdeluokituksen määrittelee pumpun hyötysuhde. Vaadittavan hyötysuhteen täytyy olla aina suurempi, mitä suurempitehoisesta pumpusta on kyse. Tämä on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 7. Nykyiset IE-luokat, IE5 luokkaan asti. Y-akselilla moottorin vähimmäishyötysuhde, joka on riippuvainen moottorin tehosta (X-akseli). Kuvaaja pätee 4-napaiseen 50Hz:n moottoriin. (19.)

### 3.1.2 EEI-arviointijärjestelmä

IEC 60034-30 -standardin ohella moottorivalmistajat ovat käyttäneet EEI-arviointijärjestelmää (EU-direktiivi 92/75/EC) energiatehokkuutta ilmaistakseen. EEI-järjestelmä on laadittu aikaisemmin käytössä olleen EU:n energiamerkin (Luokat A-G) tilalle. (11.)

EEI-indeksi kuvaa Blaue Engel -ympäristömerkintäjärjestelmän kriteerein mitattavan kulutuksen erotusta arvioitavan tuotteen ja standardissa määritetyn samankaltaisen tuotteen välillä. Blaue Engel on saksalainen ympäristömerkintäjärjestelmä, jonka kriteereissä erillisen kiertovesipumpun energiankulutusta arvioidaan valmiiksi laaditun kuormitusprofiilin perusteella. Profiilissa pumppu käy 25 %:n virtaamalla 44 % ajasta, 50 %:n virtaamalla 35 % ajasta, 75 %:n virtaamalla 15 % ajasta ja 100 %:n virtaamalla 6 % ajasta. (11.)

Blaue Engel -ympäristömerkintäjärjestelmän laatima kuormitusprofiili ei sovellu pohjoismaissa vaadittaviin pumpun ominaisuuksiin kovinkaan hyvin. Kesä- ja talvivuodenajoista johtuva suuri lämpötilanvaihtelu tarkoittaa esimerkiksi käytännössä lämmitysjärjestelmässä sitä, että patteriventtiilit ovat täysin auki ympäri vuoden ja menoveden lämpötilaa vaihdellaan jatkuvasti. Yleisesti pumpput käyvät 75–100 % virtaamalla lähes koko elinikänsä ajan, eikä pienempiä virtaamia käytetä toisin, kuin maissa, joissa kesän ja talven välinen lämpötilaero ei ole merkittävä.

EU-lainsäädäntö on asettanut EEI-indeksiin sidotut vaatimukset vuodesta 2013 alkaen. Vuodesta 2013 alkaen kiertovesipumppujen EEI-indeksi saa olla korkeintaan 0,27 ja vuoden 2015 elokuusta alkaen se saa olla korkeintaan 0,23. Energiansäästöprojektiin suunniteltujen pumppujen EEI-indeksi on 0,20. (11.)

### 3.1.3 MEI-indeksi

EU-komissio on asettanut 25.6.2012 (asetus 547/2012) kuivamoottorisille kiertovesi- ja paineenkorotuspumpuille vähimmäishyötysuhtenormin. Vähimmäishyötysuhdetta kuvataan MEI-indeksillä. Indeksillä voidaan laskea pumpulle hydraulinen vähimmäishyötysuhde. Pumpun DN-koko eli putken halkaisija sekä rakenteellinen tyyppi vaikuttavat pumpun MEI-lukuun. Indeksillä on helppo verrata pumppujen energiatehokkuutta.

MEI-luku lasketaan pumpun toimintapisteen tuoton (l/s), nostokorkeuden (m) ja pyörimisnopeuden (r/min) avulla parhaan hydraulisen hyötysuhteen kohdalla. MEI-arvo lasketaan käyttäen 75 %, 100 % ja 110 % virtaaman toimintapistettä suhteessa parhaimman hyötysuhteen pisteeseen. Mikäli pumpun MEI-arvo jää alle vaaditun, sitä ei voida CE-merkitä, jolloin pumpun myynti Euroopassa on kiellettyä. (20.)

MEI-indeksi vaikuttaa pumppuvalmistajiin. Esimerkkinä MEI-indeksillä ollessa 0,1 sen tarkoitus on leikata 10 prosenttia huonoimmista nykyisistä pumpuista pois EU-markkinoilta, jolloin pumppuvalmistajat joutuvat parantamaan tuotteitaan tai vaihtoehtoisesti supistamaan tuotevalikoimaansa. (18.)

MEI-Indeksissä on otettava huomioon se, että indeksi ilmoitetaan pumpun pesään sopivalla suurimmalla juoksupyörällä, mutta usein pumppuvalmistajat voivat käyttää samassa pesässä pienempää juoksupyörää rajoittaakseen pumpun nostokorkeutta. MEI-indeksi on todellisuudessa ilmoitettua huonompi, mikäli käytetään pienempää juoksupyörää, kuin pumpun pesään maksimissaan sopisi.

Asetuksen 547/2012 mukaan vaatimukset otettiin käytäntöön kahdessa vaiheessa:

- 1.  $MEI \geq 0,1$  1.1.2013 lähtien huonoimmista pumpuista 10 % pois markkinoilta
- 2.  $MEI \geq 0,1$  1.1.2015 lähtien huonoimmista pumpuista 40 % pois markkinoilta

### 3.2 Pumppulait

Pumppausjärjestelmän tarvitsemaa tehoa optimoitaessa on tiedettävä mihin järjestelmä tehoa tarvitsee. Energiankulutus määräytyy nesteen fyysisestä nostamisesta, nesteen paineen nostamisesta sekä pumpattavan nesteen liikekitkan aiheuttamista häviöistä.

Pumpun mitoitus lasketaan aina pumppulakien avulla. Oikea mitoitus on suurin tekijä järjestelmässä energiatehokkuuden kannalta. Energiakulutukseen vaikuttaa pumpun nostokorkeus, moottorin teho, vaadittava tilavuusvirta ja pumppausyksikön kokonaishyötysuhde. Kokonaishyötysuhde muodostuu pumpun moottorin ja hydraulisen hyötysuhteen tulosta. Nostokorkeuden ja tilavuusvirran perusteella määritellään pumpun toimintapiste. Jokaisella pumpulla on ideaali toimintapiste, jota hyödyntämällä oikean pumppuvalinnan ansiosta saadaan energiatehokkain ratkaisu järjestelmään. (14.)

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (1.)$$

$H$  on nostokorkeus (m)

$\Delta p$  on pumpun tuottama paine-ero (Pa)

$\rho$  on pumpattavan nesteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  on putoamiskiihtyvyys (m/s<sup>2</sup>) = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Kaava 1. mukaan paineen lisäys on suoraan verrannollinen nesteen tiheyteen. Kiertovesipumpuissa tämä on vakio, mikäli järjestelmässä ei ole muita nesteitä, kuten glykolia. Nesteen lämpötila vaikuttaa nesteen tiheyteen, joka on otettava huomioon laskettaessa nostokorkeutta  $H$ . (14.)

Tilavuusvirta määritellään nestetilavuutena, jonka pumpu syrjäyttää ajassa  $X$ . Tilavuusvirta saadaan laskettua putken poikkipinta-alan ja virtaavan nesteen nopeuden avulla seuraavalla kaavalla 2. (14.)

(2.)

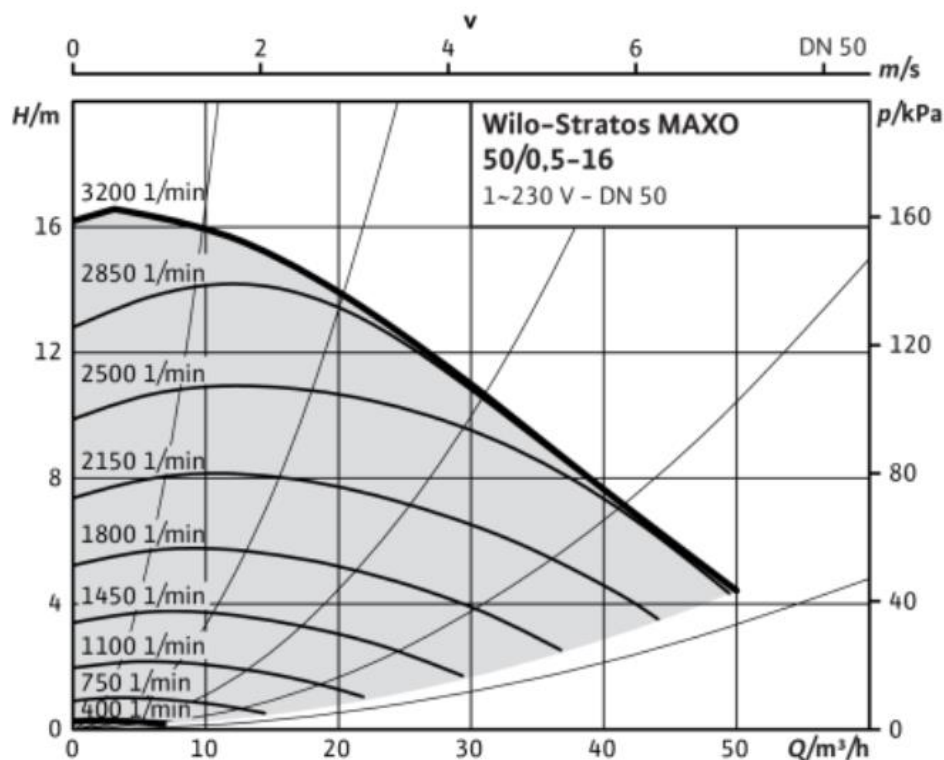
$$Q = A * v$$

$Q$  on tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$A$  on virtauksen poikkipinta-ala (m<sup>2</sup>)

$v$  on nopeus (m/s)

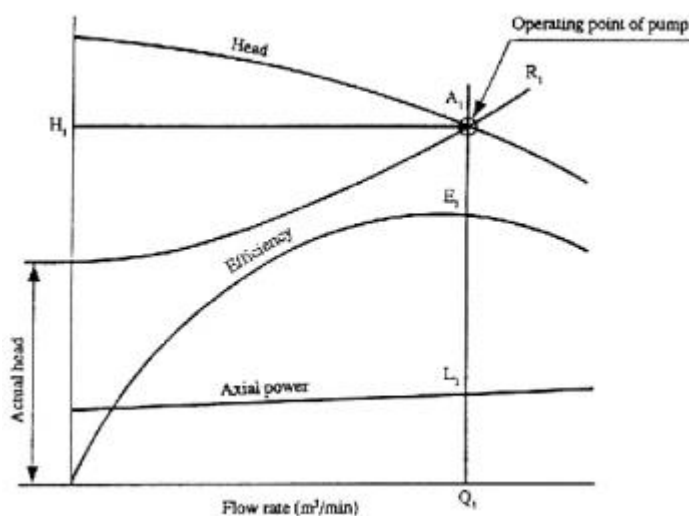
Wilo-Stratos MAXO 50/0,5-16



Kuva 8. Wilo Startos MAXO 50/0,5 – 16 -pumpun ominaiskäyrä. Kyseistä pumpppua on suunniteltu käytettäväksi kauppakeskuksen monissa järjestelmissä.

Toimintapiste muodostuu pumpun ominaiskäyrän ja verkoston vastuskäyrän leikkauspisteestä. Toimintapistettä voidaan muuttaa pumpun pyörimisnopeutta, juoksupyörän kokoa, sekä geometriaa muokkaamalla. Ominaiskäyrät pätevät yleensä 50 Hz:n taajuudelle ja +20 °C:n vedelle. Nesteen tiheys on suoraan verrannollinen pumpun tehontarpeeseen, joten käytettäessä muuta nestettä, kuin vettä, on moottorin tehon riittävyys tarkistettava. (14.)

Putkiverkoston vastuskäyrä muodostuu häviöistä, joita aiheuttaa venttiilit, putkiston eri komponentit, kuten imuaukot, taivutukset, sekä jako- ja liitoskohdat. Suoran putken aiheuttavat kitkahäviöt on myös otettava huomioon. Vastuskäyrä kasvaa putkiston iäkäännyessä, sillä putkiston sisäpintaan muodostuu korroosion ja lian aiheuttamana epätasainen pinta, jolloin kitkahäviöt kasvavat. (15.)



Kuva 9. Pumpun ominaiskäyrä, verkoston vastuskäyrä, akselitehon kuvaaja, sekä toimintapiste ja pumpun hyötysuhde voidaan piirtää samaan kuvaajaan, jolloin pumpun toimintapiste muodostuu näiden leikkauspisteestä. (14.)

Pumppua mitoittaessa pyritään siihen, että se toimii prosessin kannalta parhaalla mahdollisella hyötysuhteella ja paras mahdollinen hyötysuhde löytyy yllä esitettyjen kuvaajien leikkauspisteestä, eli toimintapisteestä. Pumpun toimintapisteessä käytetään pumpulle ideaalisia toiminta-arvoja, jolloin pumpun energiatehokkuus on maksimissaan. Kauppakeskuksessa on huomattu, että osa pumpuista on mitoitettu lievästi alitehoisiksi. Ongelma korostuu, kun putkiverkosto ikääntyy, jolloin verkoston häviöt kasvavat.

Pumppulait tunnetaan myös nimellä affiniteettisäännöt. Kun tiedetään tilavuusvirta, nostokorkeus, teho, juoksupyörän halkaisija, sekä pyörimisnopeus näiden kuvaajien välillä vaikuttavat niin sanotut yhdenmukaisuuslait, eli affiniteettiyhtälöt. Uudet arvot edellä mainituille voidaan laskea affiniteettikaavoilla. Affiniteettisäännöt pitävät, mikäli hyötysuhde pysyy muuttumattomana. Moottorin hyötysuhde muuttuu pyörimisnopeuden muuttumisen johdosta yleensä muutaman prosenttiyksikön verran, joka ei ole merkitsevää. (16.) Kaavassa 3. on esitelty affiniteettisäännöt.



(3.)

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n}{n_0}$$

$$\frac{H}{H_0} = \left( \frac{n}{n_0} \right)^2$$

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{n}{n_0} \right)^3$$

$Q$  on pumpun uusi tilavuusvirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$Q_0$  on pumpun tunnettu tilavuusvirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$n$  on pumpun uusi pyörimisnopeus ( $\text{r/s}$ )

$n_0$  on pumpun tunnettu pyörimisnopeus ( $\text{r/s}$ )

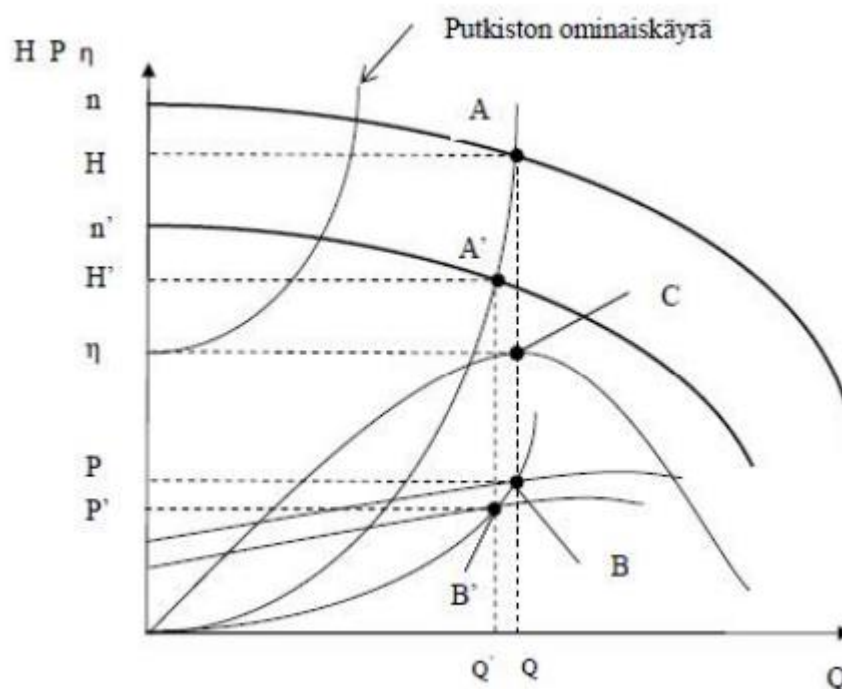
$H$  on pumpun uusi nostokorkeus (m)

$H_0$  on pumpun tunnettu nostokorkeus (m)

$P$  on pumpun uusi teho (kW)

$P_0$  on pumpun tunnettu teho (kW)

Pumpun tilavuusvirta on suoraan verrannollinen moottorin pyörimisnopeuteen. Nostokorkeus muuttuu pyörimisnopeuden suhteen toiseen potenssiin ja teho muuttuu pyörimisnopeuden suhteen kolmanteen potenssiin. Laskuissa voidaan pyörimisnopeuden tilalla käyttää tilavuusvirtaa aina, kun pumpun toimintapistettä muutetaan pyörimisnopeutta muuttamalla. Tämä pätee, kun hyötysuhde pysyy muuttumattomana. Teho, joka on suoraan verrannollinen energiankulutukseen, pyörimisnopeuden puolittuessa energiankulutus tippuu kahdeksasosaan alkuperäisestä. Tämän vuoksi moottorin ideaali pyörimisnopeus, joka saavutetaan taajuusmuuttajakäytöllä, on merkittävässä roolissa energiatehokasta järjestelmää koottaessa.



Kuva 10. Moottorin pyörimisnopeuden muutoksen vaikutus toimintapisteeseen affiniteettisääntöjen mukaan.

Tarkastellaan tilannetta toimintapisteessä A, jolloin pyörimisnopeus on  $n$ . Pisteessä A tilavuusvirta on tällöin  $Q$  ja nostokorkeus  $H$ . Pumppu ottaa pisteessä A tehon  $P$  ja sen hyötysuhde on  $\eta$ . Pienemmällä pyörimisnopeudella  $n'$  siirtyy pisteeseen  $A'$ , saavutettava nostokorkeus pienenee. Vastaavasti tehokäyrillä siirrytään pisteestä B pisteeseen  $B'$ . Vähennettäessä moottorin pyörimisnopeutta tasaisesti, piste A lähestyy origoa paraabelin muotoista käyrää pitkin. Vastaavasti tehopiste B pienenee kolmannen asteen muotoista käyrää pitkin. Pisteellä A on hyötysuhdepisteen C mukaisesti hyötysuhde  $\eta$ . Toimintapisteiden muuttuessa tämä kuvaaja on pätevä, mikäli hyötysuhde pysyy muuttumattomana affiniteettisäännön mukaisesti. Sähkömoottorikäyttöisissä pumpuissa tämä toteutuu marginaalisella muutoksella. (14.)

### 3.3 Automaatio ja pumpun oikea mitoitus

Pumpun eliniän ajan kustannukset jakautuvat seuraavasti:

- pumpun hankintahinta 10 %
- pumpun huoltokustannukset 5 %
- pumpun energiankulutus 85 %

Oikein mitoitettun pumpun energiankulutus voi olla 60 % pienempi väärin mitoitettuun pumppuun verrattuna. Pumppujen ylimitoitus on yksi suurimmista energiatehokkuusongelmista pumppauksessa. On arvioitu, että 75 % pumppausjärjestelmistä on ylimitoitettuja ja monet niistä ovat mitoitettu yli 20 % liian suuriksi. Pumppuja ylimitoitetaan monesti mahdollisen tuotannonkasvun varalta, sekä mitoituslaskelmiin lisätään usein tarpeettoman suuri varomarginaali. Keskipakopumpuille on myös mitoitettu monesti liian suuri nostokorkeus. Pumpun nostokorkeutta voidaan vähentää pienentämällä juoksupyörän halkaisijaa. Juoksupyörä voidaan myöhemmin kasvattaa suuremmaksi, mikäli järjestelmä edellyttää taas suurempaa nostokorkeutta.

Toimiva ohjaus automaation avulla on oikein mitoitettun pumpun ohella yksi järjestelmän tärkeimmistä tekijöistä. Tehokkain pumppauksen ohjauskeino on pyörimisnopeussäädetty käyttö. Myös jaksottaisella käytöllä saadaan säästettyä energiaa, tarpeettomien pumppujen sammuttaminen on helpoin ja nopein tapa, mikäli prosessiseisokkien pituus on riittävä pitkä. Kauppakeskuksessa lämmitys- ja jäähdytyskauden pumppujen sammuttamisella päästäisiin jo suureen vuotuiseseen energiansäästöön, mutta tällä hetkellä pumput pyörittävät järjestelmässä nestettä, vaikka nestettä ei lämmitetä/jäähdytetä, jolloin se ei vapauta energiaa mihinkään.

Vaihtelevaa pumppaustarvetta on kauppakeskuksessa ohjattu kuristusventtiileillä, jolloin painepuolella oleva moottoriventtiili sulkeutuu ja näin pienentää virtaamaa, pumppu käy kuitenkin venttiiliä vasten täydellä teholla kaiken aikaa. Ylivoimaisesti energiankulutuksen kannalta paras tapa on ohjata moottoreiden pyörimisnopeutta. Tämä vaatii automaatiojärjestelmään muutoksia, sekä myös induktiomootoreille taajuusmuuttajan, joka kasvattaa järjestelmän kustannuksia merkittävästi. Nopeussäädön avulla pumppu saadaan kuitenkin toimimaan ideaali toiminta-arvoilla ja tehokkuudella, jolloin taajuusmuuttajan ja

kunnollisen automaatio-ohjauksen investointien takaisinmaksuaika voi olla varsinkin isoilla pumpuilla huomattavankin lyhyt.

Kauppakeskuksen energiansäästöprojektissa käytettäviä EC-moottoreiden ominaisuuksia hyödyntämällä pyörimisnopeussäädöllä ja pumppujen elektroniikan avulla energiansäästöpotentiaali on valtava.

## 4 Projektin kustannukset

### 4.1 Energiansäästölaskelmat

Kauppakeskuksen energiansäästöprojektin energiansäästölaskelmat on tehneet pumpuvalmistaja. Energiansäästö on laskettu vertaamalla vanhan pumpun ilmoitettuja nimellisarvoja uusien pumppujen arvoihin. Vaikka vanhat pumput ovat jo muutaman vuosikymmenen takaa, niistä löytyy selkeästi valmistajan ilmoitetut tehollisarvot ym. Internettistä ja kun pumppujen käyttötapa on ollut jatkuva – 8640 tai 4320 tuntia vuodessa – on vertailu vanhan ja uuden välillä helppoa.

Seuraavana esitetään energiansäästölaskelmat kahdestatoista pumpusta. Laskelmat tehtiin jokaisesta kiinteistön pumpusta, mutta tässä käsitellään vain osaa niistä. Laskelmissa vihreä rivi merkitsee sellaista pumppua, joka on vielä saatavana uutena, keltainen sellaista, jota ei enää myydä, eikä siihen valmisteta varaosia, ja punainen sellaista, jonka vaihtoa suositellaan energiatehokkuuden takia. Suurin osa projektin pumpuista ovat sellaisia, joihin ei ole enää varaosia saatavilla, tai ne ovat niin vanhoja, että niiden vaihtoa energiasyistä suositellaan. Pumppuja joihin vielä on saatavana varaosia, suositellaan silti vaihdettavan, koska niiden vaihto uusiin on tällaisen projektin yhteydessä niin halpaa, että niiden yksittäisvaihto lähivuosina tai edes seuraavan vuosikymmenen aikana tulisi kalliimmaksi.

Taulukko 2. Nykyisistä pumpuista kerätyt tiedot

Tilavuusvirta	Nostokorkeus	Käyttöaika	Lataus profiili	Merkki	Käytettävä olemassa oleva pumppu	Putkiliitäntä	Rakennepituus	Sähkönkäyttö	Energiavaatimukset	Energiakustannukset	Elinkaarikustannukset yhteensä
Q in l/s	H in m	h/a				DN/G	mm		kWh/a	EUR/a	EUR
6,87	5,7	4380	Täyskuor- makäyttö:	Grund- fos	<b>Magna 50- 120</b>	DN50	280	1x230V	3 171	381	8 816
6,87	5,7	4380	Täyskuor- makäyttö:	Grund- fos	<b>Magna 50- 120</b>	DN50	280	1x230V	3 171	381	8 816
4,97	10,5	8760	Täyskuor- makäyttö:	Grund- fos	<b>Magna3 80- 120</b>	DN80	360	1x230V	8 182	982	22 750
6,93	4,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>LP 65-150</b>	DN65	380	3x400V	3 416	410	9 498
6	5,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Kolmeks	<b>L 65A/4- 145</b>	DN65	340	3x400V	2 628	315	7 307
3,65	6,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>LP 65-150</b>	DN65	380	3x400V	2 628	315	7 307
3,65	6,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Kolmeks	<b>L 65A/4- 148</b>	DN65	340	3x400V	2 190	263	6 089
3,28	6,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>LP 65-150</b>	DN65	380	3x400V	2 628	315	7 307
3,28	6,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>LP 65-155</b>	DN65	380	3x400V	2 847	342	7 916
15,5	6,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>NEK 100- 188</b>	DN100	495	3x400V	10 510	1 261	29 230
15,5	6,5	4380	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>NEK 100- 188</b>	DN100	495	3x400V	10 510	1 261	29 230
1,2	8	8760	Täyskuor- makäyttö:	Tekmo	<b>KP 65-165</b>	DN65	380	3x400V	4 205	505	11 690

Taulukosta 2. selviää, että tilavuusvirta, sekä nostokorkeus määrittelee käytettävän pum-  
pun koon. Pumppujen elinkaarikustannukset ovat hankintahintaan suhteutettuna erittäin

suuret, kuten kuvassa 5. sivulla kahdeksan on esitetty. Esimerkiksi ensimmäisellä rivillä esitetty Grundfos Magna 50-120 -pumpun listahinta on 2000 euroa ja laskentajaksolla, joka on 15 vuotta, sen käyttöön on mennyt energiakustannuksina lähes 9000 euroa. Tässä taas korostuu se, kuinka pienessä osassa pumpun hankintahinta on pumpun elinkaarikustannuksista, joten pumpun valinta on erittäin tärkeää tehdä oikein.

Taulukko 3. Uusien pumppujen tiedot.

Pumppusuo- situs	Putkiliitäntä	Rakennepituus	Sähkönsyöttö	Energiavaatimuk- set	Energiakustannuk- set	Hinta	Jatkopalat	Yhteensä	Muutostyöt		Elinkaarikustan- nukset yhteensä
	DN/G	mm		kWh/a	EUR/a	EUR	EUR	EUR	Putki- työt	Säh- kön- syöttö	EUR
<b>Stratos 65/1-12 PN 6/10</b>	DN 65	340	1x230V	2 550	306	721,00 €	- €	721,00 €	Putki- työt	Ok	7 090
<b>Stratos 65/1-12 PN 6/10</b>	DN 65	340	1x230V	2 550	306	721,00 €	- €	721,00 €	Putki- työt	Ok	7 090
<b>Stratos GIGA 50/1-20/1,3</b>	DN 50	280	3x400V	7 007	841	1 548,00 €	- €	1 548,00 €	Putki- työt	Muu- tos	19 480
<b>Stratos 65/1-12 PN 6/10</b>	DN 65	340	1x230V	2 083	250	721,00 €	50,00 €	771,00 €	Jatko- pa- loilla	Muu- tos	5 792
<b>Stratos 65/1-12 PN 6/10</b>	DN 65	340	1x230V	2 164	260	721,00 €	- €	721,00 €	Suo- raan sa- maan väliin	Muu- tos	6 016
<b>Stratos 65/1-9 PN 6/10</b>	DN 65	280	1x230V	1 733	208	415,00 €	80,00 €	495,00 €	Jatko- pa- loilla	Muu- tos	4 818
<b>Stratos 65/1-9 PN 6/10</b>	DN 65	280	1x230V	1 733	208	415,00 €		415,00 €	Jatko- pa- loilla	Muu- tos	4 818
<b>Stratos 65/1-9 PN 6/10</b>	DN 65	280	1x230V	1 603	192	415,00 €	80,00 €	495,00 €	Jatko- pa- loilla	Muu- tos	4 456
<b>Stratos 65/1-9 PN 6/10</b>	DN 65	280	1x230V	1 603	192	415,00 €	80,00 €	495,00 €	Jatko- pa- loilla	Muu- tos	4 456
<b>Stratos GIGA 100/1- 13/2,3</b>	DN 100	450	3x400V	5 859	703	1 958,00 €	50,00 €	2 008,00 €	Jatko- pa- loilla	Ok	16 290
<b>Stratos GIGA 100/1- 13/2,3</b>	DN 100	450	3x400V	5 859	703	1 958,00 €	50,00 €	2 008,00 €	Jatko- pa- loilla	Ok	16 290
<b>Stratos-Z 30/1-12 PN 10</b>	G 2	180	1x230V	1 609	193	330,00 €	- €	330,00 €	Putki- työt	Muu- tos	4 474

Taulukossa 3. on uusien pumppujen tiedot. Uusien pumppujen valinnassa on huomioitu tarvikkeiden hintaa nostavat muut asennuskustannukset. Nykyiset pumpput eivät välttämättä ole enää samankokoisia korvattavien kanssa, joten asennus vaatii järjestelmään jatkopaloja. Sähkönsyöttö saattaa muuttua kolmivaiheisesta yksivaiheiseksi, jolloin asennustöissä täytyy tehdä muutoksia myös sähkökeskukselta.

Taulukko 4. Energiansäästölaskelmat euroina sekä hiilidioksidipäästöjen pienentyminen kilogrammoina.

Vuosittainen energiansäästö		Vuosittainen energiakustannussäästö	Hiilidioksidipäästöjen kokonaisvähennys	Energian kokonais-säästö	Energiakustannusten kokonais-säästö	Kustannusten säästö yhteensä	Takaisinmaksu aika	Pumppujen hinta asiakkaalle	Putki ja sähkötyöt	Hinta asiakkaalle
$\Delta$ kWh/a	%	$\Delta$ EUR/a	kg	kWh	EUR	EUR	a			
621	19,59	75	5 794	9 316	1 727	1 727	0	901	225	1401
621	19,59	75	5 794	9 316	1 727	1 727	0	901	500	1401
1 175	14,36	141	10 960	17 620	3 266	3 266	0	1821	500	2321
1 333	39,02	160	12 440	19 990	3 706	3 706	0	964	300	1264
464	17,66	56	4 330	6 961	1 290	1 290	0	901	250	1151
895	34,07	107	8 353	13 430	2 489	2 489	0	619	300	919
457	20,88	55	4 266	6 859	1 271	1 271	0	519	300	819
1 025	39,01	123	9 566	15 380	2 851	2 851	0	619	300	919
1 244	43,71	149	11 610	18 660	3 460	3 460	0	619	300	919
4 653	44,26	558	43 410	69 790	12 936	12 936	0	2362	400	2762
4 653	44,26	558	43 410	69 790	12 936	12 936	0	2362	400	2762
2 596	61,73	312	24 220	38 940	7 217	7 217	0	413	300	713



Vanhojen ja uusien pumppujen verkosta ottamaa tehoa vertailemalla ja käyttötunnit huomioiden saadaan vuosittainen energian säästö laskettua. Taulukossa 4 tarkemmat energiansäästölaskelmissa käytetyt tiedot.

Taulukko 5. Pumppuvalmistajan käyttämät laskentavaatimukset

**Laskentavaatimukset**

Sähkötariffi	0,12	EUR/kWh
Vuosittainen sähkötariffin nousu	5	%
Vuosittainen inflaatiovauhti	1	%
Korko	0	%
Arviointikausi	15	Vuodet
Valuutta	EUR	

#### 4.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika saadaan, kun tiedetään koko projektiin liittyvät kustannukset. Kiinteistönomistajat ovat kiinnostuneita sijoituksensa takaisinmaksuajasta, joten jo projektin tarjousvaiheessa täytyy olla takaisinmaksuaika laskettuna.

Seuraavana lasketaan pienelle ja suurelle pumpulle takaisinmaksuajan huomioiden kaikki kustannukset.

Taulukon 3 ensimmäisellä rivillä olevan Stratos 65/1-12 PN 6/10 -pumpun hankintahinta projektin yhteydessä on 901 euroa. Pumpun asennukseen, eli automaatio-, sähkö- ja putkitöihin menee aikaa 225 euron arvosta, joten tämän pumpun vaihto tulee maksamaan 1126 euroa. Pumppu on helppo vaihdettava, sillä se ei tarvitse putkimuutostöitä, eikä sähkökeskusmuutoksia. Yllä olevat laskentavaatimukset huomioiden saamme pumpun vaihdolle 15,1 vuoden takaisinmaksuajan. (17.) Pumpun mekaaninen elinikä huomioiden (20–25 v) tämän yksittäisen pumpun vaihto ei juuri nyt ole taloudellisesti kannattavaa. Huomioidessa kuitenkin vanhan pumpun ikä ja päättymässä oleva elinkaari, sekä

pumpun hankintahinta projektin yhteydessä (721 euroa) pumpun vaihdosta tulee kannattavaa. Pumpun listahinta on 3550 euroa, joten projektin yhteydessä pumpun hinnasta saadaan 80 % alennusta. (17.)

Taulukon 3 rivillä kymmenen oleva projektin yksi suurimmista pumpuista Wilo Stratos Giga 100/1-13/2,3 -pumpun kohdalla takaisinmaksuaika on toinen. Pumpun hinta asennuksineen on asiakkaalle 2762 €. Vanhaan pumppuun verrattuna energiaa säästyy 44 % vuositasolla aikaisempaan pumppuun verrattuna. Motivan energiansäästöinvestointilaskurilla saamme pumpun takaisinmaksuajaksi tasan viisi vuotta. (17.)

Suurin osa projektin pumpuista painottuu hyvinkin suuren määrän energiaa säästäviin pumppuihin. Vastaavanlaisissa projekteissa koko hankkeen takaisinmaksuaika on yleensä ollut vain noin kolmen vuoden luokkaa. Investointina tämän kaltaiset energiaa säästävät projektit ovat kiinteistönomistajalle erittäin hyviä. Sähkösäästön ohella kiinteistön energiatehokkuus paranee ja kiinteistön hiilidioksidipäästöt vähenevät radikaalisti. Tässä hankkeessa on laskettu hiilidioksidipäästöjen putoavan 1,7 miljoonaa kiloa CO<sub>2</sub>:sta laskennan (15 v) ajalta, joka vastaa noin kahdeksaa miljoonaa henkilöautolla ajettua kilometriä.

Pumput sijoittuvat projektissa kooltaan näiden kahden edellä mainitun pumpun väliin. Takaisinmaksuajan suhteen ensimmäisenä mainittu on projektin pisimmästä päästä, johon useat pienemmät sekä halvimman hintaluokan pumput sijoittuvat. Suuremman kokoluokan pumpuissa kalliista hankintahinnasta huolimatta energiansäästö on niin suurta, että takaisinmaksuaika on verrattain lyhyt.

#### 4.3 Fyysiset työt ja työn suunnittelu

Pumpputoimittajan ohella projektiin tarvitaan urakoitsija, joka tekee fyysiset työt kohteessa.

Pumppujen vaihdon suorittaa putkiasentaja. Pumpun vaihtoon menee LV-asentajalta aikaa kahdesta kahdeksaan tuntiin riippuen pumpun kokoluokasta. Suurimpiin pumppuihin

tarvitaan ehdottomasti kaksi asentajaa, sillä ne painavat yli 400 kiloa. Niiden liikuttamiseen ja paikalle asentamiseen tarvitaan yleensä myös vinssi tai muu vastaava apuväline. Suurimpien pumppujen vaihdossa on myös huomioitava se, miten pumppu saadaan järjestelmän luokse. IV-, jäähdytys ja lämmönjakohuoneissa saattaa mennä putkilinjoja halki lattian, joten on rakennettava siltoja näiden yli ja järjestää reitti vanhan pumpun luokse. Työtunnit saattavat nousta jopa kahteen päivään kahdelta asentajalta per pumppu tällaisissa tapauksissa. Arvio työtunneista on tehtävä paikan päällä asentajan kanssa. Putkityömuutoksiin menevä aika tulee myös huomioida. Näistä on onneksi tehty jo kartoitusvaiheessa huomio, mihin järjestelmään on saatavilla pumppu suoraan ja mikä tarvitsee muutostöitä.

LV-asentajan ohella projektissa tarvitaan myös sähköasentajaa. Sähkötöitä tulee jokaisen pumpun vaihdosta, sillä LV-asentaja ei saa ilman sähkötyölupaa kytkeä pumppua verkkoon. Sähköasentajalla menee karkeasti tunti per pumppu tähän työhön. Sähköasentajan tulee myös tehdä keskusmuutos uutta pumppua asennettaessa. Uusissa pumpuissa on jäätymissuojat, jonka indikointi tulee viedä keskuksen kontaktorilta suoraan pumpulle, sillä vanhassa järjestelmässä tämä on tullut erillisen anturin takaa kiinteistöautomaation kautta. Jäätymissuojatermostaatti mittaa ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin paluueden lämpötilan, joka alittuessaan hälytysrajan aiheuttaa hälytyksen. Tyypillisesti hälytysraja on +8 °C. Projektin tarvitaan myös automaatio-ohjelmoijaa, sillä jokainen uusi pumppu on päivitettävä kiinteistöautomaation grafiikalle, sekä luotava tälle aikaohjelma ja muut asetusarvot. Ohjelmoijan tekemä työ vaikuttaa pumpun vaihdolla aikaansaatuun energiansäästöön. Mitä tarkemmin automaatio-ohjelmoija määrittelee uusille pumpuille aikaohjelman ja ideaali pyörimisnopeudet, sitä suurempi hyöty pumpun vaihdosta saadaan.

Vastaavien projektien lopullisista kustannuksista noin 40 % on tullut työn osuudesta. Käyttämällä työssä asentajia, joilla on paljon kokemusta vastaavanlaisista projekteista saadaan tunnit käytettyä tehokkaasti ja pidettyä työ kustannukset maltillisina.

## 5 Yhteenveto

Vanhojen pumppujen energiankulutus on vuosittain ollut lähes 900 000 kWh, jonka kustannukseksi tulee reilu 100 000 € vuosittain. Kaikkien pumppujen vaihdolla energiankulutus pienenisi 34 %, joka tarkoittaisi yli 35 000 € säästöä vuositasolla.

Viidentoista vuoden laskenta-ajalle energiansäästöä kertyisi euromääräisesti lähes puoli miljoonaa euroa, jolloin projekti olisi maksanut itsensä noin viisin kertaisena takaisin. Euromääräisesti säästö saattaa olla vielä merkittävästi suurempi, mikäli energianhinta kasvaa odotettua enemmän.

Projekti on kiinteistönomistajalle yksi parhaista sijoituskohteista, mitä tekniikan saneeraukseen tulee, mikäli näin kalliiseen hankkeeseen on tilaa budjetissa. Vastuullisuutta ympäristöstä on nykyaikana paljon painotettu ja tämän kaltainen projekti on omiaan nostattamaan kiinteistön ekologisuutta.

Esitellyn työn kaltainen energiansäästöprojekti kiertovesipumppujen vaihdon avulla soveltuu lähes mihin tahansa jo ikääntyneeseen kauppakeskukseen, suureen toimistorakennukseen tai vaikkapa isoihin varastohalleihin. Energiatehokkaat pumput ovat saavuttaneet tuotantokustannuksien kohtuullistuessa järkevän hintatason, joten pumppuprojekti on hyvä sijoitus kiinteistöön, jossa Eff1 tai sitä huonommin luokitellut pumput päivitetään tämän päivän vaatimien standardien tasolle.

Hankkeen riskeinä on asennustöiden laskenta. Mikäli asennustöissä tulee suuria ongelmia voi asennuskuluihin tulla merkittäväkin kasvu. Pumppuja on niin paljon, että jokaiseenkin jo puolen tunnin venymä aikataulussa aiheuttaa merkittävän kustannuksien nousun. Hyvä asia on se, että vastaavanlaisia projekteja on tehty ennenkin, joskaan ei näin suuressa mittakaavassa. Vanhoista hankkeista saadaan silti hyvää ja tärkeää dataa tukeamaan uusia laskelmia. Toisena riskinä on uusien pumppujen elinikä. Projektiin suunnitellut pumput ovat täysin uutta mallisarjaa eikä vielä voida tietää käytännössä, miten

pumput toimivat pidemmällä aikavälillä. Laskennassa on käytetty viidentoista vuoden aikaikkunaa, mikä on melko lyhyt aikaväli pumppujen mekaanisessa elinkaareissa. Viidentoista vuoden laskennassa on suuri varomarginaali sille, jos tuote ei olekaan sellainen, joka kestää normaalin pumpun elinkaaren noin 20–25 vuotta, on sijoitus ollut silti kustannustehokas. Pumppuvalmistajat tekevät paljon tuotekehitystä ja testaavat pumppuja ennen, kun ne tulevat markkinoille, mutta aina tämän kaltaisissa pitkälle aikavälille suunnitelluissa projekteissa on tämä riski olemassa, ettei mekaaninen kestävyys ole sitä, mitä on odotettu.

Tämä opinnäytetyö on opettanut paljon LVI-tekniikasta. Pumpuista löytyy hyvin dataa, jopa todella vanhoistakin malleista. Tietoa on hyvin saatavilla suomeksi ja englanniksi ja siihen perehtyminen on ollut mielenkiintoista. Pumppujen kehitys vuosien aikana on ollut hurja, jota alkuun ei tullut ajatelleeksi. Tekniikassa tapahtuu suurta kehitystä kaikilla aloilla, joista osa ovat tukeneet myös pumpputeknologian kehittymistä. Pumput ovat kuitenkin tuotteita, joilta odotetaan verrattain pitkää elinikää, vaikka ne joutuvat usein jatkuvalle suurelle rasitukselle. On ollut mielenkiintoista perehtyä seikkoihin, jotka vaikuttavat pumppujen toimintaan, sekä kysymykseen miten energiatehokas pumppu rakentuu.

## Lähteet

- 1 Grundfos Ecademy, verkkodokumentti, 2020.

<https://fi.grundfos.com/training-events/ecademy/all-topics/basic-principles-and-pump-types/centrifugal-pump-types.html>

- 2 Iwaki Technology & Tips, verkkodokumentti, 2020.

<https://www.iwaki-nordic.com/fi/home/products/technology-and-tips/centrifugalpumper-magnetdrevet-eller-pumpe-med-akseltaetning/>

- 3 Wikipedia, verkkodokumentti, 2020.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Vaihtos%C3%A4hk%C3%B6moottori>

- 4 ABB Suomi, "Power and Automation" –lehtijulkaisu, 2009.

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>

- 5 ABB Suomi, Jarno Kinnunen, 2014.

<https://docplayer.fi/19154823-Jarno-kinnunen-abb-oy-kotimaan-myynti-2014-abb-n-pienjannitemoottorit.html>

- 6 ABB Suomi, Antti Vuorivirta, 2014.

<https://docplayer.fi/4356303-Antti-vuorivirta-abb-oy-kotimaan-myynti-ssty-sairaalatekniikan-paivat-12-2-2014-uudet-sahkomoottoritekniikat-energiasaastojen-tuojana.html>

- 7 Sähkönet, blogikirjoitus, 2009.

<https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>

- 8 Motiva, raportti Motiva, 2013.

[https://www.motiva.fi/files/11224/Ekosuunnittelu\\_sahkomoottorit.pdf](https://www.motiva.fi/files/11224/Ekosuunnittelu_sahkomoottorit.pdf)

- 9 Zener, verkkodokumentti, 2016.

<https://www.zener.fi/sahkomoottorit/korkean-hyotysuhteen-moottorit/>

- 10 Grundfos, verkkodokumentti, 2017.

[https://pwemag.co.uk/files/12017April/PWE\\_Grundfos\\_IE5\\_Whitepaper\\_May\\_September17.PDF](https://pwemag.co.uk/files/12017April/PWE_Grundfos_IE5_Whitepaper_May_September17.PDF)

- 11 Grundfos, verkkodokumentti, 2020.

<https://fi.grundfos.com/training-events/ecademy/all-topics/the-grundfos-magna3/efficiency-and-the-eei.html>

- 12 Motiva, verkkodokumentti, 2019.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit)

- 13 Pumps & Systems, verkkodokumentti, 2016.

<https://www.pumpsandsystems.com/technology-developments-improve-centrifugal-pump-systems>

- 14 Ville Mänttari, insinööritö, 2011.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27748/Insinoorityo+Ville+Mant-tari.pdf?sequence=1>

- 15 Motiva, verkkodokumentti, 2009.

[https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas\\_pumppausj\\_rjestelm\\_.pdf](https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf)

16 Kristian Finnilä, insinööriyö, 2015.

<http://docplayer.fi/24016815-Kristian-finnila-keskipakopumpun-valinta.html>

17 Motiva, laskuri, 2020.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem\\_n\\_tukemat\\_energiakatselmukset/laskentatyokalu\\_energiatehokkuustoimien\\_taloudellisen\\_kannattavuuden\\_tarkasteluun](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/laskentatyokalu_energiatehokkuustoimien_taloudellisen_kannattavuuden_tarkasteluun)

18 Kolmeks, verkkodokumentti, 2013.

<https://www.kolmeks.fi/ajankohtaista/2013/01/15/kolmeks-ja-uudet-energiatehokkuusvaatimukset>

19 Research Gate, verkkodokumentti, 2020.

[https://www.researchgate.net/profile/Felipe\\_Oliveira46/publication/327820752\\_Energy\\_Efficiency\\_in\\_Variable\\_Speed\\_Centrifugal\\_Chiller\\_Systems\\_Driven\\_by\\_Synchronous\\_Reluctance\\_Motors/links/5e2f371192851c9af7287250/Energy-Efficiency-in-Variable-Speed-Centrifugal-Chiller-Systems-Driven-by-Synchronous-Reluctance-Motors.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Felipe_Oliveira46/publication/327820752_Energy_Efficiency_in_Variable_Speed_Centrifugal_Chiller_Systems_Driven_by_Synchronous_Reluctance_Motors/links/5e2f371192851c9af7287250/Energy-Efficiency-in-Variable-Speed-Centrifugal-Chiller-Systems-Driven-by-Synchronous-Reluctance-Motors.pdf)

20 Grundfos, verkkodokumentti, 2020.

<https://fi.grundfos.com/about-us/news-and-press/Uutiset/v-himm-ishy-tysuhdeindeksi.html>